

УДК 62:006:631.3:37.014.3

ПЕРСПЕКТИВНИЙ РОЗВИТОК ТА ІННОВАЦІЇ ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ
PROSPECTIVE DEVELOPMENT AND INNOVATIONS IN ENGINEERING GRAPHICS IN AGROENGINEERING

Олена Джеджула

Вінницький національний аграрний університет

Графічна діяльність є невід’ємною складовою професійної компетентності інженера, зокрема в галузі агроінженерії, де необхідно враховувати складні умови експлуатації техніки. Нарисна геометрія, інженерна та комп’ютерна графіка є фундаментальними дисциплінами, що забезпечують базову графічну підготовку майбутнього фахівця та сприяють формуванню просторового мислення та навичок технічного проектування [5; 8]. Науковці приділяють значну увагу проблемам розвитку технологій створення графічних моделей та їх впливу на підготовку майбутніх фахівців у закладах вищої освіти. Історично основним методом представлення конструкцій є технічне креслення, яке базується на ДСТУ та ISO стандартах. Складальні, робочі кресленики та схеми дозволяють створювати точну документацію для виготовлення деталей та агрегатів.

У сільському господарстві традиційні креслення використовуються для проектування тракторів, комбайнів, плугів та інших машин. Проте вони мають обмежені можливості для візуалізації складних механізмів та аналізу їх роботи в реальному часі. У сучасних умовах цифрової трансформації аграрного сектору інженерна графіка зазнає значних змін. Традиційні методи креслення поступаються місцем цифровим технологіям, що забезпечують автоматизацію проектування та підвищення його ефективності [11; 16]. Інженерна графіка є засобом передачі технічної інформації у візуальній формі. Її роль в агроінженерії обумовлена поребою у створенні креслеників та технічної документації, моделюванням технічних систем, аналізом конструкцій, візуалізацією технологічних процесів [6]. В агроінженерії графічні методи застосовуються при проектуванні сільськогосподарських машин, обладнання та виробничих об’єктів [3].

Досліджуючи перспективні напрями доцільно виокремити кілька етапів у розвитку інженерної графіки, які корелюють із розвитком техніки та технологій. Перший етап пов’язаний із ручним кресленням, яке характеризується високою трудомісткістю та низькою гнучкістю змін [4]. Впровадження САД-систем дозволило автоматизувати процес створення креслеників і підвищити точність [2; 16], що відповідає другому етапу еволюції інженерної графіки. Сучасний (третій етап) пов’язаний з цифровим моделюванням і характеризується використанням 3D-моделювання та інтеграції з виробничими процесами [11].

Інноваційні технології CAD/CAM/CAE системи принципово змінили сутність графічних робіт, дозволивши створювати складні моделі, проводити інженерний аналіз, автоматизувати виробництво з максимальною ефективністю [11; 16].

3D-моделювання в графічній діяльності не просто замінює традиційне креслення – воно змінює весь процес інженерної роботи: від проектування та аналізу до виробництва та комунікації. Воно підвищує точність, швидкість, гнучкість і ефективність інженерних рішень, що особливо важливо в складних галузях, таких як агроінженерія.

Візуалізація конструкції в агроінженерії дозволяє створювати тривимірні цифрові прототипи деталей, вузлів та машин. На основі візуалізованих 3D-моделей інженери можуть наочно оцінити форму, розміри та взаємозв’язки компонентів, ще до виготовлення фізичного прототипу. Це знижує ризик помилок і неточностей, які часто трапляються при традиційному кресленні. Отже 3D-моделювання забезпечує створення цифрових прототипів, тестування конструкцій, зниження витрат на розробку [10].

Наступним перспективним напрямом інженерної графіки стали BIM-технології. BIM-технології (Building Information Modeling) – це методика і цифрова платформа для інтелектуального

проектування, будівництва та експлуатації об'єктів на основі тривимірних моделей, що містять усю необхідну інформацію про конструкції, матеріали, системи і процеси. Іншими словами, BIM – це цифровий двійник будівельного або інженерного об'єкта, де всі елементи (структурні, технологічні, енергетичні, експлуатаційні) представлені в єдиній моделі з даними для всіх етапів життєвого циклу.

Агроінженерія має справу зі складними виробничими об'єктами та технікою, де ефективність, точність і управління ресурсами критично важливі. BIM у агроінженерії дозволяє зменшити витрати, підвищити точність проектування, оптимізувати процеси і контролювати об'єкти протягом усього життєвого циклу. Це особливо важливо для складних аграрних комплексів, де ефективно управління ресурсами і технікою безпосередньо впливає на продуктивність і рентабельність.

Доповнена (AR) та віртуальна реальність (VR) сьогодні широко застосовуються у навчанні та проектуванні, значно підвищуючи наочність та ефективність інженерної діяльності [9; 10; 15].

Доповнена реальність (AR, Augmented Reality) накладає цифрові об'єкти на реальний світ, наприклад, дозволяє переглядати 3D-модель сільськогосподарської машини безпосередньо в робочому просторі. Віртуальна реальність (VR, Virtual Reality) створює повністю цифрове середовище, де користувач може взаємодіяти з моделями техніки або будівельних об'єктів, перебуваючи «всередині» цифрового прототипу.

Важливим є застосування цих технологій у навчальному процесі аграрних університетів. Адже інтерактивні методи сприяють кращому засвоєнню матеріалу і формуванню практичних навичок [10]. Для студентів створюються додаткові можливості для вивчення внутрішньої структури машин, вузлів та технологічних процесів, що неможливо відобразити на двовимірних кресленнях. Використання AR/VR дозволяє відпрацьовувати технологічні операції без ризику пошкодження обладнання або травмування [9].

У проектуванні доповнена (AR) та віртуальна реальність (VR) забезпечують візуалізацію та тестування конструкцій. Інженери можуть оцінювати розміщення деталей, конфігурацію вузлів і взаємодію компонентів у масштабі реального об'єкта. В агроінженерії AR/VR допомагає моделювати рух техніки, розташування обладнання та логістику на фермах, складах та зерносховищах, що дозволяє оптимізувати простір і підвищити продуктивність [9; 15].

Важливою є допомога цих технологій для організації спільної роботи над проектами: AR/VR дозволяє командам проводити віддалені ревізії проектів, робити примітки та узгоджувати зміни в реальному часі. Підсумовуючи, варто підкреслити, що AR/VR-технології забезпечують інноваційний підхід до навчання та проектування у агроінженерії, дозволяючи поєднувати наочність, безпеку та ефективність. Вони сприяють підвищенню якості навчального процесу, оптимізації проектних рішень і інтеграції сучасних цифрових технологій у інженерну практику [9; 10; 15].

Сьогодні інженерна графіка органічно поєднується з адитивними технологіями, які самостійно підлаштовуються під потреби користувача, умови середовища або конкретні завдання для підвищення ефективності навчання, виробництва чи проектування. Адаптивні технології забезпечують динамічну регуляцію виробничих процесів: машини автоматично коригують режими обробки ґрунту або внесення добрив. Оптимізація процесів за рахунок адаптивних технологій знаходить прояв у підвищенні продуктивності та зниження витрат ресурсів. Щодо навчальної діяльності, то адаптивні технології створюють можливості для індивідуалізації навчання: завдання та підказки підбираються відповідно до рівня знань студента. У поєднанні з AR/VR та BIM адаптивні технології створюють інтерактивне середовище для навчання та проектування, підвищуючи ефективність інженерної діяльності в агроінженерії [2; 3; 5].

Цифрове моделювання, або CAD (Computer-Aided Design), стало революційним кроком у розвитку інженерної графіки. За допомогою 3D-моделей можна не лише створити точні геометричні зображення деталей, але й виконати віртуальні складальні одиниці, відтворити динамічний аналіз руху механізмів, виявити потенційні технічні суперечності та помилки до виготовлення прототипу. Серед популярних програмних комплексів у агроінженерії виділяють SolidWorks, Autodesk Inventor, CATIA та PTC Creo. Ці системи дозволяють моделювати як окремі деталі, так і повністю складні машини, включно з гідравлічними та електронними системами.

Інновацією останнього десятиліття стало використання 3D-друку для швидкого прототипування. В агроінженерії це дозволяє виготовляти експериментальні деталі для тестування, швидко вносити зміни у конструкцію без великих фінансових витрат, зменшувати час від розробки до впровадження нових машин. Наприклад, фермерські стартапи використовують 3D-друк для створення адаптерів і насадок до трактора, які можна виготовити локально, без замовлення на заводі [10].

Цифрові технології в агроінженерії включають IoT, Big Data, GPS-навігацію. Такі технології сьогодні системно інтегруються з інженерною графікою, створюючи цифрові моделі та системи управління [11]. Так, наприклад, інтеграція технологій IoT в агроінженерію зумовлює нові вимоги до інженерної графіки як засобу проєктування, візуалізації та документування технічних систем. У сучасних умовах інженерна графіка перестає бути лише інструментом створення креслень і трансформується у важливий компонент цифрового проєктування складних кіберфізичних систем, до яких належать IoT-рішення. Перш за все, інженерна графіка забезпечує розроблення конструктивних рішень для пристроїв IoT, зокрема сенсорів, контролерів, комунікаційних модулів та їх інтеграцію в сільськогосподарську техніку.

Використання систем автоматизованого проєктування, таких як AutoCAD, SolidWorks та Fusion 360, дозволяє створювати точні 3D-моделі елементів IoT-систем, виконувати їх віртуальне складання та аналіз працездатності. Отже, взаємозв'язок IoT та інженерної графіки полягає у взаємодоповненні: IoT забезпечує збір і передачу даних, тоді як інженерна графіка - їх візуалізацію, аналіз і проєктне опрацювання. Така інтеграція є основою розвитку цифрового аграрного виробництва та підготовки фахівців нового покоління, здатних працювати в умовах індустрії 4.0.

Зв'язок технологій Big Data та інженерної графіки в агроінженерії можна розглядати через декілька важливих аспектів, де сучасні дані та візуалізація взаємодіють для оптимізації агротехніки, управління ресурсами та прийняття рішень. Так, Big Data дозволяє проводити складний аналіз великих масивів інформації. Результати можна інтегрувати в графічні інтерфейси: інтерактивні карти полів з показниками вологості, врожайності, стану рослин, 3D-візуалізація динаміки росту культур, графіки та діаграми для прийняття рішень у реальному часі. Отже, поєднання технологій Big Data та інженерної графіки створюють потужний механізм інтерактивної аналітики та прогнозування. Технології Big Data забезпечують збір і аналіз величезних обсягів агроданих, а інженерна графіка перетворює ці дані в зрозумілі моделі та візуалізації, що допомагає інженерам оптимізувати техніку, підвищувати ефективність агропроцесів та приймати обґрунтовані рішення.

Зв'язок GPS-навігації та інженерної графіки в агроінженерії проявляється через коректне позиціонування техніки та візуалізацію даних для оптимізації робіт на полях. GPS-технології забезпечують точне визначення координат об'єктів на полі та контроль руху техніки, тоді як інженерна графіка перетворює ці дані на зрозумілі візуальні моделі, карти та симуляції. Зокрема поєднання GPS та інженерної графіки відкриває можливості для створення цифрових двійників полів та техніки, де маршрути руху техніки відображаються у 3D-просторі, використовуються симуляції для оптимізації технологічних процесів, дані про врожайність та стан ґрунту інтегруються в карти та графіки для швидкого прийняття рішень. Це дозволяє ефективно планувати обробку полів, зменшувати втрати ресурсів і підвищувати продуктивність. Поєднання GPS-навігації та інженерної графіки дозволяє оптимізувати роботу машин, зменшити витрати ресурсів і підвищити врожайність.

Аналіз інновацій в аграрному секторі відображається на зміни та стратегічні напрями інженерної графіки. Стратегічні напрями розвитку інженерної графіки у контексті розвитку агроінженерії матимуть багатогранний вплив, адже сучасне сільське господарство дедалі більше опирається на цифрові технології, автоматизацію та аналіз великих даних.

За основні напрями можна вважати такі: 3D-моделювання та цифрові двійники (Digital Twins) з метою зменшення потреб в фізичних випробуваннях, скороченні часу розробки нових машин і підвищення ефективності технічного обслуговування; інтерактивна візуалізація даних з метою обробки величезних масивів даних з датчиків ґрунту, дронів і супутників та пришвидшення прийняття рішень; автоматизоване проєктування та оптимізація конструкцій з метою автоматичного підбирати оптимальної конструкції технічних та інших об'єктів сільськогосподарського

призначення; доповнена та віртуальна реальність (AR/VR) з метою підвищення точності, безпеки та ефективності агроінженерних процесів, зменшення витрат часу та ресурсів за рахунок віртуального тестування і навчання, швидкого та наочного прийняття рішень.

Вища освіта сьогодні стикається з низкою проблеми, серед яких застарілі методики навчання, недостатня матеріально-технічна база, висока вартість програмного забезпечення, потреба у підвищенні кваліфікації викладачів. Проте розвиток технологій не зупиняється, що змінює вимоги до сутності підготовки фахівця у ЗВО.

Сучасна агроінженерія активно інтегрує цифрові технології, такі як Big Data, GPS-навігація, AR/VR та цифрові двійники, що трансформує традиційні підходи до графічної підготовки студентів. Інновації у сфері інженерної графіки дозволяють не лише створювати креслення, а й моделювати складні системи, аналізувати дані та візуалізувати процеси, наближаючи навчання до реальних умов сучасного сільського господарства. Сутність графічної компетентності майбутнього фахівця суттєво змінюється. Традиційне навчання кресленню на папері поступово замінюється 3D-моделюванням техніки, обладнання та полів.

Сьогодні студентам необхідні навички роботи з CAD/CAM-системами, створення цифрових двійників машин, проведення віртуальних симуляцій технологічних процесів, що дозволяє перевірку конструкцій та ефективності роботи техніки у віртуальному середовищі до її реального виготовлення. Важливим стає уміння обробляти великі обсяги даних з полів, GPS-трекерів, дронів та датчиків. Ці дані інтегрувати у графічні моделі для наочної візуалізації: карти врожайності, вологості ґрунту, зон внесення добрив. Таке уміння потребує розвитку навичок аналізу та прийняття рішень на основі реальних даних агроінженерії.

Використання AR/VR у навчанні дозволяє студентам симулювати роботу техніки, маршрути GPS-навігації та технологічні процеси без ризику для полів і обладнання, доповнена реальність (AR) дає змогу накладати цифрові дані на реальні моделі машин або полів, оцінюючи їх стан та ефективність роботи.

Швидкими темпами буде продовжуватись автоматизація та оптимізація графічних робіт. Сучасні CAD-системи з елементами штучного інтелекту дозволяють автоматично створювати креслення, оптимізувати форми деталей та механізмів техніки.

Графічна підготовка студентів стає поєднанням інженерії, ІТ та агрономії. Студенти навчаються використовувати графічні моделі для планування та оптимізації агропроцесів, інтегруючи знання з різних областей. Тому міждисциплінарний підхід найбільш сприятиме формуванню компетентностей для цифрової трансформації агроінженерії.

У контексті інновацій в інженерній графіці та агроінженерії, сучасні педагогічні технології мають враховувати цифровізацію, інтерактивність і практичну орієнтованість, формуючи компетентності для цифрової трансформації аграрного сектору.

Серед найбільш популярних на сьогодні технологій можна виокремити проєктне навчання (Project-Based Learning). Його сутність полягає у тому, що студенти виконують реальні проєкти, наприклад, створення цифрових моделей сільськогосподарської техніки або поля. Така технологія сприяє розвитку креативності, аналітичного мислення та командної роботи та добре інтегрується з CAD/CAM, AR/VR та Big Data для практичного застосування. У Вінницькому національному аграрному університеті у навчальному процесі ми реалізуємо розробку 3D-моделі автоматизованого обприскувача та аналіз маршруту руху за GPS-даними.

Використання симуляцій, віртуальних лабораторій та AR/VR-середовищ забезпечує інтерактивність навчання та дозволяє студентам експериментувати без ризику для техніки та полів. Інтерактивність підвищує мотивацію та залученість у навчальний процес.

В умовах війни очний навчальний процес стає нестабільним, що актуалізує дистанційне та змішане навчання. Такі види навчання передбачають поєднання онлайн-курсів, відеоуроків та практичних завдань. Дистанційне та змішане навчання орієнтує студентів на самостійну роботу та інтеграцію з цифровими платформами.

Ще одним перспективним методом навчання в умовах швидкого розвитку технологій стає метод кейсів (Case Study), який спрямовує на аналіз реальних інженерних ситуацій у агроінженерії.

Студенти розв'язують проблеми, використовуючи сучасні технології, включаючи GPS-навігацію, сенсори та цифрові моделі. Прикладом може бути кейс «Оптимізація маршруту сівалки на полі з нерівним рельєфом» із застосуванням 3D-моделі поля.

Актуальним залишається метод проблемного навчання (Problem-Based Learning), який передбачає пошук рішення конкретних інженерних задач, поєднуючи знання графіки та технологій. Такий метод розвиває аналітичні навички та критичне мислення.

Як приклад для інженерної графіки можна для студентів запропонувати тему «Оптимізація форми плуга з використанням САД та симуляцій механічного навантаження».

З метою розвитку швидкості мислення, стратегічного планування та прийняття рішень доцільними вважаються активні методи ігрової та симуляційної діяльності.

Отже, сучасна педагогіка у підготовці студентів з інженерної графіки має поєднувати проєктне та проблемне навчання для практичних завдань, інтерактивні AR/VR та симуляційні методи для візуалізації та експериментів, кейси та дистанційні ресурси для самостійної роботи та аналітики, інтеграцію цифрових технологій (GPS, Big Data, IoT) у графічні проєкти. Це забезпечує формування сучасних компетентностей інженера, здатного ефективно працювати у цифровому агроінженерному середовищі.

Висновки. Інженерна графіка залишається фундаментальною складовою професійної компетентності інженера в агроінженерії, забезпечуючи формування просторового мислення, навичок технічного проєктування та передачі технічної інформації у візуальній формі. Цифрові технології радикально трансформують традиційну графічну підготовку, поступово замінюючи ручне креслення на САД/CAM/CAE-системи, 3D-моделювання, BIM, AR/VR та інтеграцію з IoT, Big Data і GPS-навігацією. 3D-моделювання та цифрові двійники дозволяють створювати точні прототипи деталей і машин, проводити віртуальні симуляції та аналіз конструкцій до виготовлення фізичних моделей, що знижує ризики помилок і витрати ресурсів.

AR/VR-технології підвищують ефективність навчання та проєктування, забезпечуючи інтерактивну візуалізацію конструкцій і технологічних процесів, безпечне відпрацювання операцій та можливість командної роботи над проєктами у віртуальному середовищі. Інтеграція інженерної графіки з цифровими технологіями (Big Data, IoT, GPS) забезпечує обробку великих обсягів агроданих, створення візуалізацій та моделей для оптимізації техніки, управління ресурсами та прийняття обґрунтованих рішень. Сучасна педагогіка в агроінженерії повинна поєднувати проєктне, проблемне та кейс-орієнтоване навчання, інтерактивні симуляції та дистанційні ресурси, що формує компетентності інженера нового покоління, здатного ефективно працювати у цифровому аграрному середовищі. Перспективи розвитку інженерної графіки в агроінженерії пов'язані з подальшою цифровізацією, автоматизацією процесів проєктування та виробництва, інтеграцією.

Список використаних джерел

1. Архіпов О., Єрмакова О., Корецький Я. Моделювання та аналіз дизайнерської конструкції з застосуванням генератора рам програми Autodesk Inventor . *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2022. № 102. С. 3–12.
2. Бідніченко О. Особливості геометричних поверхонь та способи їх комп'ютерного моделювання. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2022. № 102. С. 13–26.
3. Вірченко Г., Голова О., Бобела Н., Оліферчук О. Комп'ютерна графіка як засіб інтеграції загальної середньої та вищої технічної освіти. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2022. № 102. С. 27–38.
4. Джеджула О.М., Адамчук Н.Б. Формування інформаційної компетентності студентів аграрних закладів вищої освіти. *Суспільство та національні інтереси*. 2025. № 3 (11). С. 148-161. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-3\(11\)-148-161](https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-3(11)-148-161).
5. Джеджула О.М., Павленко Н.А. Дидактичні умови реалізації інформаційних технологій у графічну діяльність майбутніх фахівців інженерних спеціальностей. *Академічні візії*. 2025. Вип. 41.

URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1834/1710>
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15273389>.

DOI:

6. Джеджула О.М. Особливості цифровізації графічної підготовки студентів в аграрних закладах вищої освіти. *Міжнародна науково-практична конференція «Цифрова трансформація освіти: інновації. Виклики, можливості»*. Кропивницький. 2025 р.

7. Мартин Є., Гончаренко М. *Комп'ютерне 3D-моделювання в середовищах 3DS MAX та AutoCAD* // Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності». 2022. С. 65–70.

8. Aung P. P. W., Choi W., Kulinan A. S., Cha G., Park S. Three-Dimensional engine-based geometric model optimization algorithm for BIM visualization with augmented reality. *Sensors*. 2022. Vol. 22, Iss. 19, Art. 7622. DOI: 10.3390/s22197622.

9. Vlah D., Čok V., Urbas U. VR as a D modelling tool in engineering design applications. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, Iss. 16, Art. 7570. DOI: 10.3390/app11167570.

10. Yigitbas E., Nowosad A., Engels G. Supporting construction and architectural visualization through BIM and AR/VR: A systematic literature review. *arXiv preprint*. 2023. 46 p.